# 溫室作物栽培智慧灌溉技術之應用與發展

賴信忠、楊雅淨、李淑真
農業部桃園區農業改良場農業推廣科、樹林分場、作物改良科

## 摘要

全球農業普遍面臨缺工、水資源不足及氣候變遷等困境，智慧科技可提供農業安全穩定之生產模式。水分管理為作物生產最基礎且關鍵之栽培管理，智慧灌溉藉由環境感測及程式遠端控制灌溉，具備精準、省工、節水且穩定之優點。本文應用本場自行開發物聯網監控資訊系統及監控設備，結合灌溉管路及底部端盤，開發設施蔬菜、長壽花及蝴蝶蘭智慧灌溉技術。於桃城蒔菜農業生產合作社驗證人機協同灌溉技術，以程式積木編輯生育期光積值自動灌溉，透過 LineBOT 人機互動，逐步建立光積值灌溉閥值，驗證青梗白菜、莧菜及蕹菜等作物，5 期作共計灌溉 32 次，累計灌溉量 98,659 L，相較於定時器可節省 94.1% 灌水量，節省灌溉人力 90% 以上。於桃園市大同花卉農園比較長壽花智慧底部灌溉、智慧滴灌及手動滴灌處理之總用水量分別為 988、1,608、10,123 L，顯示智慧灌溉模式均較手動滴灌省水，可節水 84.1-90.2%；智慧灌溉模式中又以底部灌溉模式最為省水，相較於智慧滴灌可節水 38.5%。應用土壤濕度計監測蝴蝶蘭栽培介質含水率，探討 3.5 寸盆蝴蝶蘭底部智慧灌溉水量對其植株生長的影響。試驗材料為市售蝴蝶蘭 3.5 寸盆植株，4 個品種分別為 *Phal.* Sogo Yukidian ‘V3’、*Phal.* Charming Oriental Beauty ‘Lee1150’、*Phal.* Fuller's Pink Swallow ‘Lee1159’ 及 *Phal.* Fuller's Sunset ‘JB2035’。3 種底部灌溉水量處理分別為每盆 175、200 及 225 mL，春季植株生長栽培 5 個月，結果顯示 3.5 寸盆蝴蝶蘭品種及灌溉水量均有顯著或極顯著差異，但品種間及灌溉水量沒有交感效應。3.5 寸盆每盆 225 mL 的灌溉水量會降低 *Phal.* Sogo Yukidian 的育成率。底部灌溉水量處理以灌溉水量最少的育成率較佳，傳統人工澆水的灌溉次數較少，但總灌水量較高。此次自動底部灌溉較傳統頂部澆水灌溉方式可節省 55% 的灌溉水。

關鍵詞：設施蔬菜、長壽花、蝴蝶蘭、智慧灌溉、物聯網

## 一、前言

台灣農業環境面臨人口老化，勞力短缺，農業技術傳承無人，藉由智慧科技導入農業生產，監測環境，將農業經驗程式化，數位科技取代人力，藉由環境感測及精準預測，減少作業及資材過度投入，可提升農業生產效能，並減少對環境衝擊。作物栽培受到複雜的外在環境因子影響，包括氣象因子：光照度、溫度、空氣溼度、風速、降雨及管理因子：土壤水分含量、土壤營養元素含量等，可能單一或交互作用影響農作物各個生育階段之生長分化。而每種作物之產量構成要素及決定產量之重要環境因子均不同，需要專家以學理及經驗為基礎決定變數，透過即時監測系統及產量構成要素之調查分析，藉以微調環控及栽培管理技術，使農產品能達提升產量、調節產期及增進品質之效。

農業設施主要目的在於保護農作物，避免受到天候及病蟲危害，營造良好栽培環境，提高作物產量及品質。惟設施造價高，因此選擇具高經濟性作物，設施越精密建造成本越高，相對作物經濟性就要越高，才能獲取合理利潤。溫室配備環境管理設備，藉由無線傳輸監控設施導入，自動感測自動控制環控設備，田間作物栽培管理自動化，降低人力成本及穩定品質，惟不同作物所需管理條件不同，且作物生育從苗期、營養生長期、開花及結果期，不同時期生育條件不同，需要適時調整管理條件。因應極端氣候、水資源及缺工議題，發展設施農業及各種農業機械設備，穩定生產，促使我國農業技術持續發展，確保農業競爭力。

設施蔬菜為北部重要作物，北部地區約占 473 公頃，以全年生產 8-10 期作，生產面積約 3,730 公頃，其中桃園市約占 79%，新竹縣占 11%，以短期葉菜為主，具有穩定夏季蔬菜產銷功能。設施葉菜栽培過程包括整地、施基肥、播種 (移植)、田間管理 (灌溉、噴藥)、採收及採後處理等。以移植栽培所需管理人力，田間管理約占 17%，其中 95% 是灌溉管理。而灌溉管理攸關產品及品質，亟需富經驗管理人力，通常都需要農場主自行管理，需耗費大量管理人力，影響到其他工作安排及經營規模，智慧灌溉技術的應用，藉由無線通訊環境感測器、控制器及資通訊系統，進行自動排程灌溉管理。

長壽花為國內外重要盆花，全球年產量約 2 億盆，產值約 70 億元新台幣，國內年產量約 150 萬盆，主要供應春節，但近年來因缺工及水資源受到氣候異常而影響盆花生產。本場開發小品盆花專用底部灌溉栽培端盤，可供生產者運用於多種盆花種類，搭配監控設備及操作系統，藉由智慧灌溉技術減少灌溉人力，實施底部灌溉模式，更具減少葉片澆水引起病害，以及肥料與農藥流失等綜效。

蝴蝶蘭為我國主要內外銷花卉，每年外銷 9 千萬餘株種苗，行銷世界 60 餘個國家，產值新台幣 40 億元以上，但受人口老化及缺工影響栽培生產。張等 (2012) 指出蝴蝶蘭澆水要學要 3 年才能出師，澆水時必須充分澆濕，且每一盆皆能夠澆水均勻，等到水草摸起來似抹布要乾未乾之際，軟盆內部凝結的水滴已極少，才開始另一個澆水循環。蝴蝶蘭 *Phal.* Sogo Yukidian ‘V3’合理的介質含水率在種苗期以 18-20% 為肥灌時機，對於根系生長與地上部發育較為有利 (蘇，2009)。但由於近年來人口老化及生育力低，逐漸導入自動化的栽培管理，蝴蝶蘭澆水機全自動化改良，以市售自走式澆水機為載具，改裝出水元件及運作方式 (智，2018)，但對水資源不友善，浪費水及肥料，且提高溫室內的相對濕度。以現行的蝴蝶蘭自走式灌溉及肥培設備，或採用以栽培床的底部灌溉方式，具有病害擴散的風險。隨著科技的發展，為減少灌溉用水量、肥料量及人工，並降低病害擴散的風險；導入物聯網設備及技術應用於蝴蝶蘭的自動底部灌溉，開發並建立底部自動灌溉及肥培管理技術，以達到自動化灌溉，並降低人力的目的。

## 二、材料與方法

### 3.1 智慧環控系統及監控設備：

採用本場自行開發農業生產管理即時監控資訊系統及無線傳輸之環境感測器及控制器 (圖 1)。農業生產管理即時監控資訊系統為雲端資訊系統，可紀錄環境感測及控制數據、響應式網頁操作介面、程式積木、LINE 訊息通知、Google 試算表、串接 R 語言

及中央氣象局氣象站、影像辨識等功能，採用帳號管理。監控設備採用 Wi-Fi 傳輸，環境感測器 (圖 2) 可偵測光度 (μmol/m²/s)、空氣溫度 (℃)、空氣相對濕度 (%)、土壤濕度 (%)。3 路土壤濕度計，搭配 3 組土壤濕度計 (%)。灌溉控制器 (圖 3) 透過繼電器可控制 1 組設備開關，可外接 1 組流量計，偵測水流量。8 路控制器 (圖 4)，可獨立控制 8 組設備開關。本試驗採用程式積木進行自動控制程式編程，依據感測數據進行自動灌溉管理，灌溉結果以 LINE 通知到手機並記錄至 Google 試算表。

圖 1. 農業生產管理即時監控資訊系統運作架構圖

圖 2. 環境傳感器

圖 3. 灌溉控制器

圖 4. 8 路控制器

## 3.2 設施蔬菜智慧灌溉：

3.2.1 於桃園市八德區桃城蒔菜農業生產合作社 B02 及 B39 溫室進行設施蔬菜智慧灌溉試驗，於溫室內外安裝環境感測器，監測空氣溫度、相對溼度、光度及下雨等，每 5 分鐘 1 筆數據，上傳雲端主機儲存及計算累積光度值。

3.2.2 測試作物種類包括小白菜、青梗白菜、莧菜、蕹菜。採用直播，以程式積木編輯灌溉程式，從播種後計算生育日數，分成萌芽期、初期、中期 1 及中期 2 等灌溉時期，採用光積值模式，依作物種類設定各生育期之灌溉閥值及灌溉時間 (表 1)，以戶外傳感器光度計計算累積光度，達到該時期閥值時以 LineNotify 發布通知灌溉，管理員做最後決策是否灌溉，灌溉後光積值歸零重新計算，遇到陰天光度值低於 500 $\mu mol/m^2/s$，停止累加光度，偵測到下雨，光積值歸零。灌溉後記錄至 Google 試算表。(圖 5)

## 3.3 長壽花智慧灌溉：

3.3.1 本試驗採用本場開發之小品盆花專用底部灌溉系統，以及大同花卉農園開發之小品盆花點滴灌溉系統，搭配 3 路土壤感測器，依照介質濕度閥值自動灌溉。於八德區大同花卉農園示範場域針對長壽花小品盆花，進行上述滴灌系統及底部灌溉系統之智慧灌溉模式驗證。試驗灌溉處理為土壤水分監控底部灌溉 (智慧底灌) (圖 6)、土壤水分監控滴灌 (智慧滴灌) (圖 7)、手動滴灌等 3 種，每種處理設置 2 支土壤溼度計，分別設置於試區前後段盆栽內。智慧底灌 (圖 8)、智慧滴灌均以土壤溼度閾值 20% 執行自動灌溉，手動滴灌則仰賴現場管理人員自行判斷人工控制給水頻度與時間。

3.3.2 智慧灌溉模式 (圖 9) 設定為每日 8-16 時智慧監控灌溉時間，處理小區內任一支土壤溼度計測值低於土壤溼度閾值即啟動灌溉 1 次。如達 5 日未啟動灌溉，則強制啟動灌溉 1 次。智慧底灌每次灌溉時間為 120 秒，採間歇灌溉，灌溉 60 秒後，間隔 10 分鐘，再灌溉 60 秒 (圖 10、圖 11) ；智慧滴灌每次灌溉 200 秒，採間歇灌溉，間隔 10 分鐘，每次灌溉均以 LINE 通知。試驗於營養生長期與生殖生長期調查株高、展幅、最大葉長、最大葉寬、分支數/花序數及栽培介質電導度等。

表 1. 設施蔬菜生育期智慧灌溉條件

| 作物 | 生育期 | 天數 | 累積光度閥值 (μmol/m²/s) | 灌溉時間(min) |
|---|---|---|---|---|
| 蕹菜 | 初次灌溉 | 0 | | 9 |
| | 播種期 | 1-3 | 600,000 | 6 |
| | 初期 | 4-8 | 1,000,000 | 6 |
| | 中期 1 | 9-11 | 1,400,000 | 6 |
| 莧菜 | 初次灌溉 | 0 | | 9 |
| | 播種期 | 1-3 | 780,000 | 6 |
| | 初期 | 4-5 | 1,500,000 | 6 |
| | 中期 1 | 6-12 | 2,100,000 | 6 |
| | 中期 2 | 13-20 | 2,700,000 | 6 |
| 青梗白菜 | 初次灌溉 | 0 | | 9 |
| | 播種期 | 1-6 | 780,000 | 6 |
| | 初期 | 7-12 | 1,300,000 | 6 |
| | 中期 1 | 13-18 | 1,820,000 | 6 |
| | 中期 2 | 19-25 | 3,420,000 | 6 |
| 小白菜 | 初次灌溉 | 0 | | 9 |
| 小松菜 | 播種期 | 1-5 | 780,000 | 6 |
| 菠菜 | 初期 | 6-9 | 1,300,000 | 6 |
| | 中期 1 | 11-20 | 1,820,000 | 6 |

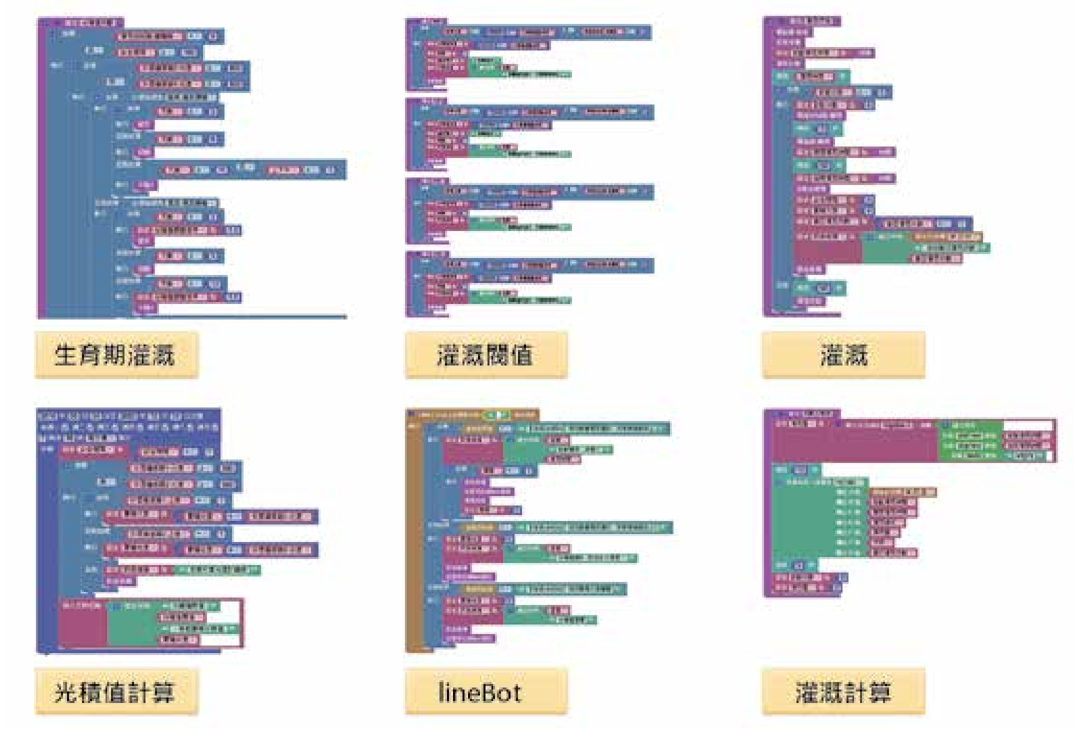


圖 5. 桃城蒔菜生產合作社人機共同灌溉決策－光積值灌溉+LineBot

圖 6. 以土壤濕度計偵測介質含水量，灌溉控制器自動給水

圖 7. 管路滴灌灌溉

圖 8. 底部灌溉端盤結合智慧灌溉

**3.4 蝴蝶蘭智慧灌溉：**

3.4.1 溫室設施內架設 1 噸的灌溉水桶、500 公升養液 (肥料) 桶及馬達，串接灌溉管路及穩壓滴頭至栽培床上，灌溉管路裝設有電磁閥及流量計，栽培床上設置 3 路土壤感測器和灌溉控制器。以程式積木編寫灌溉程式，應用土壤感測器自動偵測蝴蝶蘭介質含水量，當土壤感測器偵測蝴蝶蘭介質含水量低於閥值，自動啟動灌溉，依據設定的灌溉時間達到時，則停止灌溉。

3.4.2 試驗材料為市售 *Phal.* Sogo Yukidian‘V3’、*Phal.* Charming Oriental Beauty ‘Lee1150’、*Phal.* Fuller's Pink Swallow ‘Lee1159’ 及 *Phal.* Fuller's Sunset ‘JB2035’ 等 3.5 寸盆 4 種商用品種的蝴蝶蘭植株。

3.4.3 試驗方法：3.5 寸蝴蝶蘭植株 8 盆放入 12 孔端盤，再將其放置於有白色吸水布的正方形底部盤上，由 3 路土壤感測器偵測蝴蝶蘭介質含水量。3 種灌溉量處理各有 1 支土壤感測器監測介質含水量，設定介質含水量閥值為 30%，自動底部灌溉養液。處理為每個端盤給與 1,400、1,600 及 1,800 mL 水或肥水 (肥料種類：必達肥料 N-$P_2O_5$-$K_2O$=20-20-20，肥料濃度：1.0 g $L^{-1}$)，換算每盆為 175、200 及 225 mL；對照組為傳統人工澆灌處理 (每盆約 300 mL 水)。複因子設計，4 種品種，4 種灌溉方式，每處理 3 重複，每重複 8 盆。處理栽培時期為 4 月至 10 月。調查項目為試驗前及後之葉片數、株幅、葉長、葉寬、葉面積、根數及鮮乾重等性狀，栽培期的溫度、相對溼度及光度等環境資料蒐集。

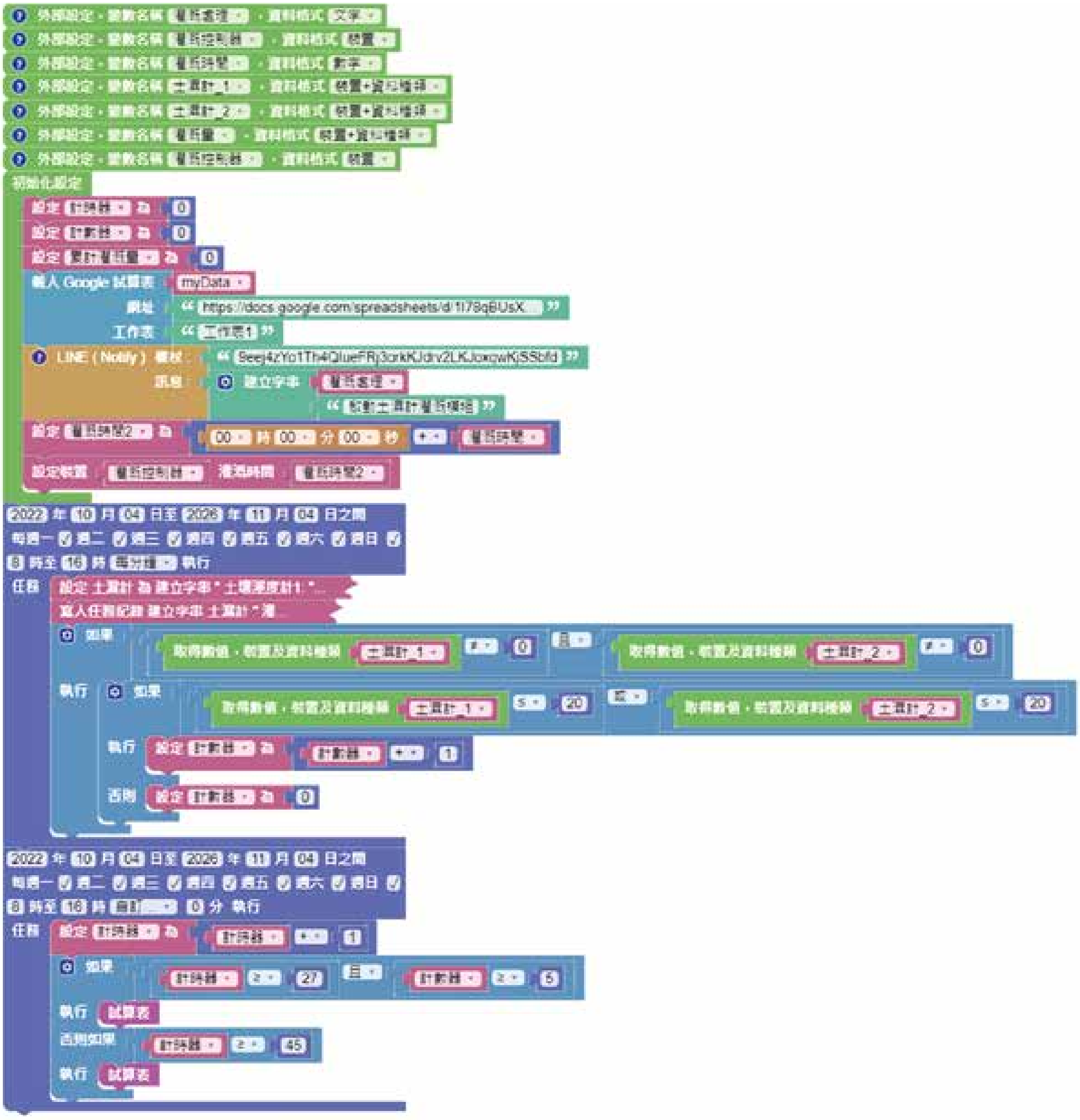

圖 9. 長壽花示範驗證智慧灌溉監控程式積木模型

圖 10. 智慧底灌處理之表單變數設定

圖 11. 智慧滴灌搭配程式進行表單化之變數設定

# 三、結果與討論

## 4.1 設施蔬菜人機協同智慧灌溉

於桃園市八德區桃城蒔菜農業生產合作社建立智慧灌溉示範場域，導入監控系統及透過程式積木進行智慧灌溉。灌溉模式採用光積值灌溉結合 LineBot 指令互動，進行人機協調灌溉模式。

已完成小白菜、青梗白菜、小松菜、菠菜、莧菜之光積值灌溉閥值設定，以生育日數分為播種期、初期、中期及中期 2 等時期自動灌溉，自動切換灌溉條件。每日 7 點至 19 點以超過 500 μmol/m$^2$/s 光強度，每分鐘執行累加，早上 9 點到下午 2 點進行累積光度閥值判斷，並設定 2 次灌溉至少間距 3 小時。達到閥值通知到 LINE 群組，管理人員回覆同意灌溉採啟動灌溉，並將光積值歸零，重新計算。完成灌溉後將灌溉量紀錄至 Google 試算表。

於 2 棟溫室進行實機驗證 (表 2)，依照天候自動調整灌溉頻率，驗證青梗白菜、莧菜及蕹菜等 5 期作共計灌溉 32 次，累計灌溉量 98,659 L，相較於定時器 (每日灌 6 分鐘) 可節省 94.1% 灌水量，蔬菜生育狀態良好。

## 4.2 長壽花智慧灌溉

111 年 7-8 月於示範場域佈建灌溉管路，裝設環境傳感器、3 路土壤溼度計及單路灌溉控制器等設備。長壽花 7 個參試品種/系，由前至後排列，依序為‘喜神’、‘福斯特’、‘黃襯衫’、‘南非魔法’、農場自有品系 TP01、5860 及 152。9 月 10 日完成材料定植，配合示範場域管理習慣，調校灌溉程式，建立長壽花智慧灌溉模式。

表 2. LineBot 人機協同智慧灌溉驗證

| 作物 | 種植日期 | 採收日期 | 灌溉次數 | 灌溉時間 | 灌溉量 |
|---|---|---|---|---|---|
| 青梗白菜 | 8/11 | 9/15 | 11 | 75 | 32,343 |
| 莧菜 | 9/20 | 10/12 | 5 | 39 | 18,361 |
| 蘿菜 | 4/29 | 5/14 | 8 | 54 | 24,062 |
| 蘿菜 | 7/21 | 8/7 | 5 | 39 | 13,593 |
| 蘿菜 | 10/16 | 11/10 | 3 | 24 | 10,300 |
| 合計 | | | 32 | 231 | 98,659 |

智慧底灌、智慧滴灌與手動滴灌處理試區管理盆數依序為 1,104、1,104 及 1,044 盆。示範場域植床長度 16 m，寬 1.8 m，為獲得穩定之灌溉量，於智慧滴灌與手動滴灌灌溉管路系統設計簡易水阻，管路前/中/後段出水口之流量分別為 30/24/28 及 36/38/22 mL $min^{-1}$ (表 3)。而智慧底灌處理本次示範場域未採用水阻設計，僅以 2 mm PE 細管進行底灌栽培盤串接，經過測試發現管路前/中/後段出水口之流量差異較大，經過檢討未來可加裝 PVC 管，搭配 2 mm PE 細管設計簡易水阻，可達到前中後段較為一致之出水控制。本次示範驗證期間為 9 月 10 日至 11 月 21 日，智慧底灌、智慧滴灌及手動滴灌處理之總用水量分別為 988.77、1,607.82、1,0123.47 L (表 4)，顯示智慧灌溉模式均較手動滴灌省水，可節水 84.1-90.2%；智慧灌溉模式中又以底灌模式較為省水，相較於智慧滴灌可節水 38.5%。

表 3. 主管前中後段連接之支管流量 (mL $min^{-1}$) 及灌溉量

| 位置 | 智慧底灌 | 智慧滴灌 | 手動滴灌 |
|---|---|---|---|
| 主管前段 | 68 | 30 | 36 |
| 主管中段 | 28 | 24 | 38 |
| 主管後段 | 34 | 28 | 22 |
| 灌溉時長 | 120 sec. | 200 sec. | - |
| 灌溉量/2 盆 | 56-136 mL | 80-100 mL | - |

表 4. 智慧灌溉模式之灌溉總量 (L)

| 灌溉模式 | 智慧底灌 | 智慧滴灌 | 手動滴灌 |
|---|---|---|---|
| 灌溉總量 | 988.77 | 1607.82 | 10123.47 |

備註：灌溉量計算期間為 10 月 25 日至 11 月 21 日。

參試植株生育情形，11 月 9 日調查 7 個長壽花品種生育性狀平均值 (表 5) 顯示，智慧底灌、智慧滴灌及手動滴灌處理，株高依序為 9.6、9.6、9.8 cm，展幅為 13.3、13.1、13.1 cm，最大葉長為 7.7、8.1、7.4 cm，最大葉寬為 4.3、4.0、4.2 cm，栽培介質 EC 值 0.22、0.10、0.03 mS $cm^{-1}$。灌溉處理效應於株高、展幅、最大葉寬性狀未達顯著水準，僅品系 152 之株高顯著較其他品種/系高，'福斯特'與品系 TP01 之最大葉寬顯著較寬。最大葉長方面具有灌溉處理顯著效應，智慧滴灌為 8.06 cm 最大，智慧底灌次之，手動滴灌最小。分支數則以智慧底灌處理 7.29 支最多，智慧滴灌 7.18 支次之，手動滴灌 6.36 支最少，達顯著差異。而 11 月 9 日與 11 月 17 日量測之栽培介質電導度均顯著以智慧底灌處理最高，兩次量測分別為 0.215、0.213 mS $cm^{-1}$，智慧滴灌處理 (0.101 與 0.023 mS $cm^{-1}$) 次之，灌溉淋洗最多的手動滴灌 (0.029 與 0.022 mS $cm^{-1}$) 最低，且達顯著差異。調查前的施肥紀錄為 10 月 22 日、11 月 12 日自灌溉管路依據灌溉模式施給水溶性複合肥料 ($N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$=20-20-20)，稀釋 750 倍，施用量為 1 次灌溉量。根據上述栽培介質電導度值結果可推測，底灌模式對於營養元素之保留應較為有效率，實際施用頻度與總量均能較慣行法更為節省。

表 5. 7 個長壽花參試品種/系之生育狀況

| 品種 | 灌溉模式 | 株高 | 展幅 | 最大葉長 | 最大葉寬 | 分支數 | EC(11/9) | EC(11/17) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ----------------cm---------------- | | | | No. | mS $cm^{-1}$ | |
| 喜神 | 智慧底灌 | 9.2 | 12.4 | 6.7 | 4.1 | 5.0 | 0.013 | 0.163 |
| | 智慧滴灌 | 10.3 | 13.2 | 8.0 | 4.0 | 6.0 | 0.105 | 0.020 |
| | 手動滴灌 | 10.6 | 13.4 | 7.6 | 3.8 | 6.0 | 0.018 | 0.000 |
| 福斯特 | 智慧底灌 | 10.6 | 12.4 | 7.5 | 5.1 | 5.0 | 0.043 | 0.163 |
| | 智慧滴灌 | 9.5 | 11.8 | 8.4 | 5.4 | 5.3 | 0.088 | 0.043 |
| | 手動滴灌 | 10.8 | 12.3 | 8.5 | 5.5 | 5.0 | 0.000 | 0.030 |
| 黃襯衫 | 智慧底灌 | 8.3 | 13.9 | 8.5 | 3.8 | 7.5 | 0.050 | 0.125 |
| | 智慧滴灌 | 7.6 | 14.6 | 8.0 | 3.5 | 8.5 | 0.168 | 0.028 |
| | 手動滴灌 | 7.8 | 13.2 | 6.9 | 3.6 | 6.0 | 0.000 | 0.005 |
| 南非魔法 | 智慧底灌 | 11.1 | 11.3 | 7.8 | 3.4 | 9.3 | 0.158 | 0.225 |
| | 智慧滴灌 | 9.8 | 11.5 | 8.0 | 3.0 | 8.8 | 0.120 | 0.020 |
| | 手動滴灌 | 10.1 | 10.8 | 7.1 | 3.7 | 7.5 | 0.000 | 0.043 |
| TP01 | 智慧底灌 | 8.5 | 11.8 | 6.3 | 4.6 | 5.5 | 0.420 | 0.158 |
| | 智慧滴灌 | 9.2 | 13.0 | 8.8 | 4.9 | 5.8 | 0.095 | 0.013 |
| | 手動滴灌 | 8.9 | 14.5 | 7.4 | 4.8 | 5.0 | 0.155 | 0.010 |
| 5860 | 智慧底灌 | 7.8 | 14.1 | 6.4 | 4.1 | 9.5 | 0.405 | 0.338 |
| | 智慧滴灌 | 8.5 | 13.7 | 6.5 | 3.4 | 7.8 | 0.050 | 0.018 |
| | 手動滴灌 | 8.3 | 13.2 | 5.9 | 3.0 | 8.3 | 0.028 | 0.000 |
| 152 | 智慧底灌 | 11.9 | 17.6 | 10.7 | 5.1 | 8.3 | 0.428 | 0.325 |
| | 智慧滴灌 | 12.1 | 14.4 | 8.8 | 4.1 | 8.3 | 0.085 | 0.018 |
| | 手動滴灌 | 12.0 | 14.0 | 8.5 | 4.9 | 6.8 | 0.000 | 0.065 |

註：生育性狀調查日期為 11 月 9 日

### 4.3 蝴蝶蘭底部智慧灌溉

蝴蝶蘭種苗購入時，因品種不同，換盆時間不同，介質含水量亦不同，因此先採用人工澆水，控制介質含水量大約一致，才開始啟動物聯網自動灌溉。初期有發現不同品種有 1-2 盆發生軟腐病，立即移除，後期就沒有再發生。如圖 12 及表 6 顯示，自動底部灌溉水量對蝴蝶蘭 3.5 寸盆春季植株生長栽培 5 個月，4 個品種的株幅均大於 30 cm，除 *Phal.* Charming Oriental Beauty ‘Lee1150’ 品種的葉片數較少外 (5-6 片)，*Phal.* Sogo Yukidian‘V3’、*Phal.* Fuller's Pink Swallow ‘Lee1159’ 及 *Phal.* Fuller's Sunset ‘JB2035’ 等品種的葉片數均達 5-8 片。參試的 4 個品種除大白花 *Phal.* Sogo Yukidian‘V3’ 的每盆 225 mL 底部灌溉量育成率為 75% 外，其他處理均為 92-100%。表示每盆 200 mL 底部灌溉量對大白花 *Phal.* Sogo Yukidian‘V3’ 生長較差，但對 *Phal.* Charming Oriental Beauty ‘Lee1150’、*Phal.* Fuller's Pink Swallow ‘Lee1159’ 及 *Phal.* Fuller's Sunset ‘JB2035’ 等品種對底部灌溉量較不敏感。此結果與蝴蝶蘭 *Phal.* Sogo Yukidian ‘V3’合理的介質含水率在種苗期以 18-20% 為肥灌時機，對於根系生長與地上部發育較為有利 (蘇，2009)，顯示 *Phal.* Sogo Yukidian ‘V3’ 對介質含水率較敏感相符。圖 13 顯示，栽培 5 個月 3 種灌溉水量處理水草介質含水量的變化，每盆灌溉水量為 175 mL，水草介質含水量在 30-60% 之間；每盆灌溉水量為 200 mL 及 225 mL，水草介質含水量在 30-70% 之間；對照組的水草介質含水量在 30-80% 之間。表 7 顯示，每盆灌溉水量為 175、200、225 mL 及對照組傳統澆灌方式，栽培期間分別灌溉 13、12、11 及 11 次，總灌溉水量分別為 18,200、19,200、19,800 及 33,000 mL，顯示最少灌溉水量與對照組處理相較下，可節省 55% 的灌溉水。試驗統計變方分析表如表 8，在增加葉幅、增加葉數、增加葉面積、總根數、地上部鮮重、地下部鮮重、地上部乾重及地下部乾重等性狀在品種間及灌溉水量均有顯著或極顯著差異。

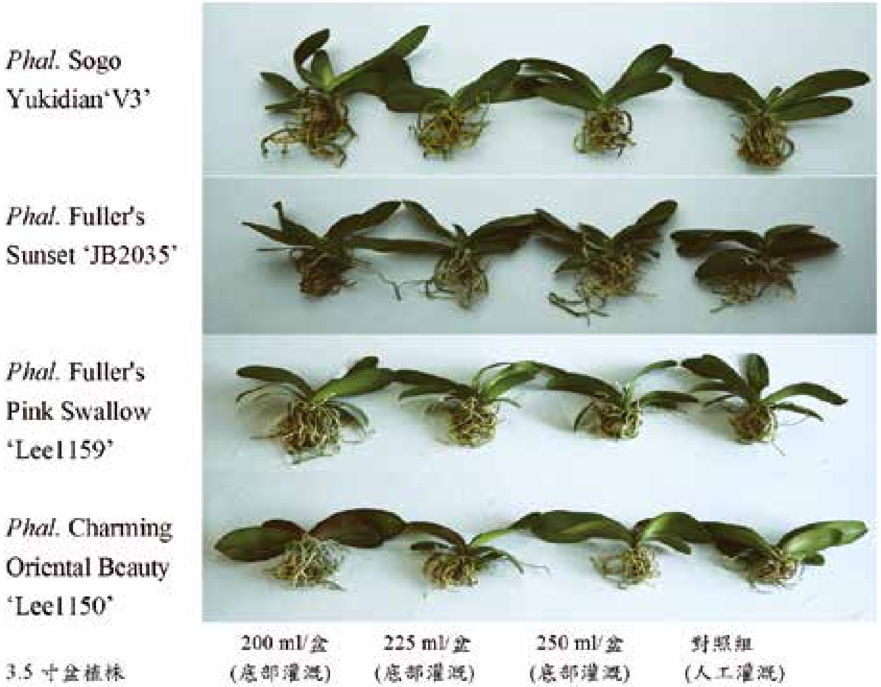


圖 12. 蝴蝶蘭 3.5 寸盆物聯網智慧底部灌溉栽培 5 個月後植株生長情形

表 6. 智慧灌溉水量對蝴蝶蘭 3.5 寸盆春季植株生長栽培 5 個月種苗育成結果

| 品種 | 灌溉水量/盆<br>mL | 葉幅<br>cm | 葉數<br>no. | 育成率<br>% |
|---|---|---|---|---|
| *Phal.* Charming Oriental Beauty 'Lee1150' | 175 | 46.9 | 5.0 | 100 |
| | 200 | 45.4 | 5.2 | 100 |
| | 225 | 45.7 | 5.1 | 91.7 |
| | 人工澆水 | 49.6 | 5.8 | 100 |
| *Phal.* Fuller's Pink Swallow 'Lee1159' | 175 | 39.6 | 7.3 | 100 |
| | 200 | 40.3 | 7.6 | 100 |
| | 225 | 41.0 | 7.1 | 100 |
| | 人工澆水 | 40.1 | 8.1 | 100 |
| *Phal.* Fuller's Sunset 'JB2035' | 175 | 37.4 | 6.6 | 100 |
| | 200 | 38.3 | 6.8 | 100 |
| | 225 | 39.6 | 8.2 | 100 |
| | 人工澆水 | 41.9 | 8.3 | 100 |
| *Phal.* Sogo Yukidian'V3' | 175 | 38.9 | 6.8 | 100 |
| | 200 | 33.8 | 6.5 | 100 |
| | 225 | 37.8 | 5.5 | 75 |
| | 人工澆水 | 40.8 | 6.5 | 100 |

育成率：植株具 5 片葉以上

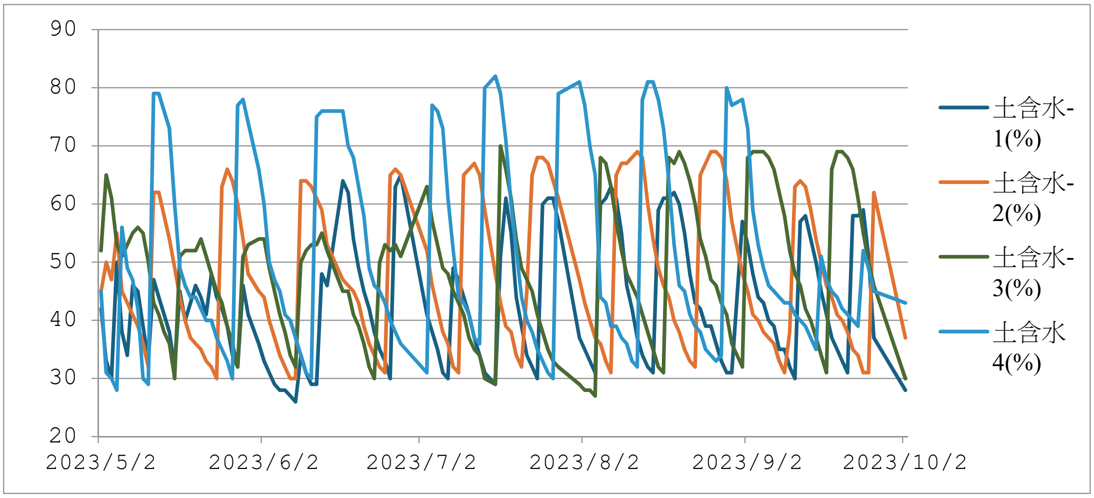


圖 13. 蝴蝶蘭 3.5 寸盆物聯網智慧底部灌溉栽培 5 個月介質含水量的變化

土含水-1: 175 mL 灌溉水量/盆，土含水-2: 200 mL 灌溉水量/盆

土含水-3: 225 mL 灌溉水量/盆，土含水-4: 傳統澆灌，對照組

表 7. 智慧灌溉水量對蝴蝶蘭 3.5 及 2.5 寸盆春季栽培 5-6 個月的總灌溉量

| 盆徑<br>寸 | 灌溉量<br>ml/盆 | 灌溉次數<br>次 | 總灌溉量<br>mL | 栽培時間<br>月份 |
|---|---|---|---|---|
| 3.5 | 175 | 13 | 18,200 | 4-9 |
| 3.5 | 200 | 12 | 19,200 | 4-9 |
| 3.5 | 225 | 11 | 19,800 | 4-9 |
| 3.5 | 300<br>(對照組) | 11 | 33,000 | 4-9 |

表 8. 智慧灌溉水量對蝴蝶蘭 3.5 寸盆春季植株生長栽培 5 個月變方分析表 (4-9 月)

| | 變因 | 自由度 | 平方和 | 均方 | F 值 | Pr>F |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 增加葉幅 | 品種 | 3 | 654.598 | 218.199 | 41.94 | <.0001 |
| | 灌溉水量 | 3 | 32.283 | 10.761 | 2.07 | 0.1240 |
| | 品種*灌溉水量 | 9 | 71.888 | 7.988 | 1.54 | 0.1780 |
| 增加葉數 | 品種 | 3 | 20.844 | 6.948 | 17.67 | <.0001 |
| | 灌溉水量 | 3 | 4.750 | 1.583 | 4.03 | 0.0154 |
| | 品種*灌溉水量 | 9 | 4.177 | 0.464 | 1.18 | 0.3404 |
| 增加葉面積 | 品種 | 3 | 56547.125 | 18849.042 | 7.67 | 0.0005 |
| | 灌溉水量 | 3 | 29209.143 | 13069.714 | 5.32 | 0.0043 |
| | 品種*灌溉水量 | 9 | 42834.966 | 4758.330 | 1.94 | 0.0819 |
| 總根數 | 品種 | 3 | 3475.281 | 1158.427 | 48.88 | <.0001 |
| | 灌溉水量 | 3 | 327.885 | 109.295 | 4.61 | 0.0086 |
| | 品種*灌溉水量 | 9 | 245.854 | 23.317 | 1.15 | 0.3570 |
| 根枯數 | 品種 | 3 | 77.464 | 25.821 | 6.98 | 0.0010 |
| | 灌溉水量 | 3 | 54.026 | 18.009 | 4.86 | 0.0067 |
| | 品種*灌溉水量 | 9 | 15.755 | 1.751 | 0.47 | 0.8819 |
| 地上部鮮重 | 品種 | 3 | 16108.344 | 5369.448 | 56.53 | <.0001 |
| | 灌溉水量 | 3 | 2022.853 | 674.284 | 7.10 | 0.0009 |
| | 品種*灌溉水量 | 9 | 2816.219 | 312.913 | 3.29 | 0.0060 |
| 地下部鮮重 | 品種 | 3 | 4011.599 | 1337.200 | 17.67 | <.0001 |
| | 灌溉水量 | 3 | 1322.280 | 440.760 | 5.82 | 0.0027 |
| | 品種*灌溉水量 | 9 | 941.483 | 104.609 | 1.38 | 0.2370 |
| 地上部乾重 | 品種 | 3 | 32.567 | 17.522 | 45.85 | <.0001 |
| | 灌溉水量 | 3 | 2.314 | 0.771 | 2.02 | 0.1311 |
| | 品種*灌溉水量 | 9 | 8.508 | 0.945 | 2.47 | 0.0287 |
| 地下部乾重 | 品種 | 3 | 34.721 | 11.574 | 19.09 | <.0001 |
| | 灌溉水量 | 3 | 8.507 | 2.836 | 4.68 | 0.0081 |
| | 品種*灌溉水量 | 9 | 3.805 | 0.423 | 0.70 | 0.7063 |

土壤濕度計可穩定偵測蝴蝶蘭栽培介質含水率，達到底部自動灌溉，減少灌溉的人力，同時可以監測及記錄蝴蝶蘭水草含水量變化，提供栽培及研究參考。蝴蝶蘭自動底部灌溉在品種及灌溉水量均有顯著或極顯著差異，但品種間及灌溉水量沒有交感效應。3.5 寸盆每盆 225 mL 的灌溉水量會降低 *Pha*l. Sogo Yukidian 的育成率。此次試驗顯示，應用自動底部灌溉較傳統頂部澆水灌溉方式可節省 58% 的灌溉水，對於灌溉水量處理及蝴蝶蘭水草含水量的灌溉閥值可嘗試再調整降低，對於蝴蝶蘭植株生長、水資源及肥料的管理更友善。

## 四、結論

溫室可抵擋雨水侵襲，相對的設施內作物只能仰賴灌溉系統給水，灌溉良莠直接影響作物產量及品質，尤其是淺根性葉菜及盆花，通常由極富經驗管理人員或農場主人負責灌溉，受限管理人力影響經營規模，也影響農業經驗傳承；智慧科技導入，透過監控設備及雲端系統進行自動灌溉，以數據驅動精準管理，管理經驗程式化，可擴大經營規模，讓全年無休農耕也可以放假，進而吸引年輕人返鄉從農。

農業部自 106 年起推動智慧農業科技研發已有豐碩成果，經過廠商技轉承接商品化，惟智農成果產業應用仍處於初期，市場有限且智農系統售價偏高，需要仰賴政府補助。因此智農二期重點在於技術落地普及，以智農生態系整合智農廠商產品及服務，透過示範場域驗證系統效能，並透過教育訓練培訓農民操作應用技能，培養在地青農之農事資訊服務職能，就近提供安裝服務，推廣智農普及。設施作物智慧灌溉示範場域可分享使用經驗，讓農民眼見為實，瞭解智農系統，進而願意採用。不同作物灌溉需求及灌溉管路設計不同，需要不同灌溉技術，考量作物、溫室環境、灌溉管路及灌溉習慣不同，需客製化灌溉程式，滿足場域需求，程式積木提供高度靈活操作模式。作物智慧灌溉普及需要廠商提供平價智農系統，政府補助資源減少農民負擔，智農廠商合作降低開發成本，透過教育訓練及示範場域口碑，讓農民願意採用，逐步習慣智慧栽培，進而打開智農市場。

本文介紹設施葉菜、盆花及蝴蝶蘭智慧灌溉，這 3 種作物單位產值差異大，以設施葉菜單位產值最低，如能導入智慧灌溉，代表具備低成本擴散優勢，不同作物都能做到精準灌溉，穩定產量及品質，顯示智農科技具有廣泛適用性。智慧科技導入農業產銷可提升農業競爭力，以公私協力推動農業進步，智農科技普及應用，推動農產業升級加值。

## 參考文獻

1. 朱堉君。2021。夏季高溫來臨怎麼辦？紅龍果因應高溫的生產策略。豐年雜誌。71:102-105。
2. 吳永昌。2021。從後物聯網邁向人工智慧物聯網的台灣未來智慧城市發展概況。管理與資訊學報。國立空中大學管理與資訊學系。26 期。P1-26。
3. 科技發展觀測平台。2020。智慧化種植管理系統市場動態和主要應用作物與類型。https://outlook.stpi.narl.org.tw/index/focustheme/

detail?id=4b1141007596aa5a0175978e7a1c0155。
4. 楊玉婷、劉依蓁。2021。2020 台灣智慧農業論壇報導－2020 台灣智慧農業論壇報導。臺灣經濟研究月刊：44 卷 2 期 (2021/02/01)，P59-65。
5. 農業統計年報。2022。<https://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx>。
6. 蔡致榮、陳柏中、葉有順。2022。農業智慧省工。中臺灣農業科技前瞻論壇專刊。台中區農業改良場。P91-122。
7. 曾凱盟。2024。智農業鑾竞監測箱實作與研究。國立臺灣海洋大學資訊工程學系碩士學位論文。P3。
8. 傅仰人。2024。北部盆花產業近 30 年演變及展望。113 年盆花產業發展趨勢研討會。桃園區農業改良場。P1-14。
9. 智慧農業。2018。蝴蝶蘭澆水機全自動化改良。
10. 楊雅淨、賴信忠。2024。盆花設施環境監控及智慧栽培管理技術。桃園區農業改良場。P101-116。
11. 葉德銘。2014。底部灌溉系統對六種觀葉植物生長之影響。台灣園藝 44(1)：81-92。
12. 農傳媒。2017。傳統農業升級！蝴蝶蘭自動化栽培提升 40% 灌溉效率、每年營收增 500 萬以上。
13. 羅士凱、陳錦木、鄭隨和。2010。小品盆花自動給水盤之研發。桃園區農業改良場研究彙報 67：45-52。
14. 蘇挺檳。2009。介質含水率、肥料濃度與栽培期對蝴蝶蘭兩階段接力栽培生長與開花之影響。國立嘉義大學農學院園藝學系碩士論文。p200。
15. Barrett, J.E. 1991. Water and fertilizer movement in greenhouse subirrigation system. Greenhouse Mgr. 10: 89-90.
16. Bryant, H. and T. Yeager. 2002. Production of Spathiphyllum using three irrigation
17. Dolan, S.G. and D.R. Keeney. 1971. A self-watering system for growing plants in potted soils. Agron. J. 63: 334-336.
18. Henley, R.W. 1982. Capillary mat irrigation of container-grown ornamental plants. Soc. Florist Nurserymen 95: 23-25.
19. Henley, R.W. 1997. Influence of wick material and wick width on the growth of Diffenbachia maculate ‘Compacta’ using deep channel/pot wick irrigation in a greenhouse environment. Proc. Southern Nursery Assn. Res. Conf. 42: 471-473.
20. methods. Proc. Southern Nursery Assn. Res. Conf. 47: 596-599.
21. Neal, C.A. and R.W. Henley. 1992. Water use and run off comparisons of greenhouse irrigation systems. Proc. Fla. State. Hort. Soc.105: 191-194.
22. Toth, J., E.J. Nurthen, and K.Y. Chan. 1988. A simple wick method for watering potted plants which maintains a chosen moisture regime. Austral. J. Expt. Agr. 28:805-808.
23. Van Iersel, M.W. and K.S. Nemali. 2004. Drought stress can produces mall but not compact marigolds. HortScience 39: 1298-1301.
24. Yeager, T.H. and R.W. Henley. 2004. Irrigation and fertilization for minimal environmental impact. Acta. Hort. 638: 223-240.

# Application and development of smart irrigation technology for greenhouse crop cultivation

Shin-Jong Lai[1], Ya-Jing Yang[1], Shu-Jen Lee[1]
[1] Associate Researcher of Taoyuan DARES, MOA

## ABSTRACT

Global agriculture is generally facing difficulties such as labor shortages, water shortages and climate change. Smart technology provides a safe and stable agricultural production model. Water management is the most basic and critical cultivation management for crop production. Smart irrigation uses environmental sensing and programmed remote, which has the advantages of precision, labor saving, water saving and stability. This article applies the self-developed Internet of Things monitoring information system and monitoring equipment, combined with irrigation pipelines and sub-irrigation trays to develop smart irrigation technology for vegetables, kalanchoe and phalaenopsis. The human-machine collaborative irrigation technology was verified at the Taocheng Vegetable Production Cooperative. The webduino blockly were used to edit the daily light integral for triggering irrigation during the growth period. Through LineBOT human-machine interaction, the daily light integral thresholds for triggering irrigation was gradually established and verified in pak choy, amaranth and water spinach. Irrigated 32 times in total during5 croppings of vegetables and other crops, with a cumulative irrigation volume of 98,659 L. Compared with the irrigation scheduling, it can save 94.1% of the irrigation volume and more than 90% of the irrigation manpower. A comparison of the total water consumption of Kalanchoe smart sub-irrigation, smart drip irrigation and manual drip irrigation at Datong Flower Farm in Taoyuan City was 988, 1,608, and 10,123 L respectively. It shows that both the smart sub-irrigation or smart drip irrigation mode have water saving benefit compared to manual drip irrigation, and 84.1-90.2% of water can be saved. Between the two smart irrigation modes, the smart sub-irrigation mode is the most water-saving, 38.5% of water. A soil moisture meter was used to monitor the moisture content of the Phalaenopsis cultivation medium, and the impact of smart irrigation water at the bottom of the 3.5-inch pot Phalaenopsis on plant growth was explored. The test materials are commercially available Phalaenopsis 3.5-inch potted plants. The four varieties are *Phal.* Sogo Yukidian'V3', *Phal.* Charming Oriental Beauty 'Lee1150', *Phal.* Fuller's Pink Swallow 'Lee1159' and *Phal.* Fuller's Sunset 'JB2035'. Three types of bottom irrigation water volume treatments were 175, 200 and 225 ml per pot respectively. The plants were grown and cultivated for 5 months in spring. The results showed that there were significant or extremely significant differences in the varieties and irrigation water volumes of Phalaenopsis in 3.5-inch pots, but the differences between varieties and irrigation water volumes were significant. There is no sympathetic effect. The irrigation water volume of 225 ml per pot in 3.5-inch pots will reduce the breeding rate of *Phal.* Sogo Yukidian. The bottom irrigation water volume treatment has the best breeding rate with the least irrigation water volume. The traditional manual watering has fewer irrigation times, but the total irrigation volume is higher. This automatic bottom irrigation can save 55% of irrigation water compared with traditional top watering irrigation.

Keywords: Facility vegetables, Kalanchoe, Phalaenopsis, smart irrigation, Internet of Things